



3. Solopekina A.A., Semezhev N., L'vov A.A., Komarov V.V., Svetlov M.S. Application of the Uncertainty Method for Analysis of Multi-Port Correlator Accuracy // Proc. 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conf. (2017 ElConRusNW). – St. Petersburg, Russia: IEEE, 2016. – P. 505-509.

4. Joint Committee for Guides in Metrology. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. – Geneva, Int. Organization for Standardization, 1st edition, BIPM, Sevres-France, 2008.

5. Joint Committee for Guides in Metrology, Evaluation of Measurement Data Supplement 1 to the “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement Propagation of Distribution Using a Monte Carlo Method”. – 1st edition, BIPM, Sevres-France, 2008.

6. Azpúrua M., Tremola C., Páez E. Comparison of the GUM and Monte Carlo method for the uncertainty estimation in electromagnetic compatibility testing // Progress in Electromagnetics Research B, 2011. – Vol. 34. – P. 125-144.

7. Willink R. On using the Monte Carlo method to calculate uncertainty intervals // Metrologia, 2006. – Vol. 43. – P. L39-L42.

8. Castrup S. A Comprehensive Comparison of Uncertainty Analysis Tools // Measurement Science Conf., Anaheim, 2004. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.isgmax.com/Articles_Papers/Software%20Comparison%20Updated%20Version.pdf. (дата обращения 20.03.2020)

А.К. Алимуратов, А.Ю. Тычков, П.П. Чураков

ПРИМЕНЕНИЕ КЕПСТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ДЕКОМПОЗИЦИИ НА ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЫ В ЗАДАЧАХ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНЫХ РАССТРОЙСТВ ЧЕЛОВЕКА ПО РЕЧИ

(Пензенский государственный университет)

В основе обнаружения и оценки психоэмоциональных расстройств человека по речи лежит важное правило: патофизиологические механизмы развития психических расстройств строятся на принципах взаимодействия нервной и речеобразующей систем организма; расстройства нервной системы активируют каскад механизмов, влияющих на функционал органов речеобразующей системы. Из данного правила можно сделать вывод, что психоэмоциональные расстройства «зашифрованы» в речевых сигналах в виде информативных параметров [1].

Точность обнаружения и оценки психоэмоциональных расстройств напрямую зависит от качества предварительной обработки и последующего анализа информативных параметров речевых сигналов. Корректная обработка речи определяется точностью измерения информативных характеристик (амплитудно-временных, спектрально-частотных и кепстральных). Главной причиной больших погрешностей при измерении информативных



характеристик является использование мало эффективных и неадаптивных методов обработки нестационарных речевых сигналов.

В работе представлен способ, позволяющий повысить эффективность обнаружения и оценки психоэмоциональных расстройств. Способ основан на адаптивной технологии разложения нестационарных сигналов, называемой декомпозицией на эмпирические моды (ДЭМ) [2] и кепстральном анализе. Исследование является развитием ранее опубликованной статьи авторов [3] и выполнено при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ, проект № СП-246.2018.5.

Декомпозиция на эмпирические моды - это адаптивная технология разложения нестационарных сигналов, возникающих в нелинейных системах. ДЭМ обеспечивает локальное разложение сигнала на быстрые и медленные колебательные функции. В результате разложения исходный сигнал может быть представлен в виде суммы амплитудных и частотных модулированных функций, называемых эмпирическими модами (ЭМ). Аналитическое выражение ДЭМ выглядит следующим образом:

$$x(n) = \sum_{i=1}^I IMF_i(n) + r_i(n),$$

где $x(n)$ – исходный сигнал, $IMF_i(n)$ – ЭМ, $r_i(n)$ – конечный остаток, $i=1, 2, \dots, I$ – номер ЭМ, n – дискретный отсчет времени ($0 < n \leq N$, N – количество дискретных отсчетов в сигнале).

Среди всех модификаций ДЭМ наиболее адаптивной к речевым сигналам является усовершенствованная полная множественная ДЭМ с адаптивным шумом (ПМДЭМАШ) [4].

В задачах обработки и анализа речи большую популярность получили методы и алгоритмы, основанные на кепстральном анализе. Главным достоинством кепстрального анализа является уплотнение информации при преобразовании сигнала из временного пространства в частотное. Кепстральный анализ в задачах обработки речевых сигналов основан определении кепстральных коэффициентов на мел-шкале, называемых мел-частотными кепстральными коэффициентами (МЧКК) [1].

Представленный способ включает в себя этапы основные этапы обработки и получения информативных параметров речевых сигналов: предварительная обработка, декомпозиция, формирование информативных компонент и мел-частотный кепстральный анализ. Непосредственное обнаружение и оценка психоэмоциональных расстройств осуществляется с помощью машинного обучения на основе метода опорных векторов

В рамках предварительной обработки осуществляется: исключение из сигнала постоянной составляющей; фильтрация сигнала с помощью высокочастотного фильтра (частота среза 130 Гц); сегментация на вокализованные и невокализованные участки.

На основе анализа преимуществ и недостатков различных видов декомпозиции и учитывая специфику речевых сигналов при пограничных психических расстройствах, авторами принято решение использовать улучшенную ПМДЭМАШ.



В соответствии с ранее проведенными исследованиями методов ДЭМ, любой дискретный сигнал можно разложить на следующие моды: шумовые информативные, сигнальные информативные, трендовые и компенсирующие неинформативные. Формирование информативных компонент основано на вычитании из исходного речевого сигнала шумовых информативных и трендовых, компенсирующих неинформативных ЭМ. Основной задачей формирования информативных компонент - концентрация информативных параметров речевых сигналов, релевантных некорректному функционированию речеобразующей системы вследствие психоэмоциональных расстройств. Вычитаемые ЭМ осуществляется по определенному правилу:

$$x_{ab,i}(n) = x(n) - (a \times \sum_{i=0}^2 IMF_{i+1}(n) + b \times \sum_{i=0}^2 IMF_{i-1}(n)),$$

где $x_{ab,i}(n)$ – информативная компонента, $x(n)$ – исходный сигнал, a, b – коэффициенты, определяющие участие ЭМ в формировании информативных компонент.

Результатом определения МЧКК являются коэффициенты (по одному в каждом мел-фильтре), компактно отражающие информацию об энергетическом распределении (уровне звука, тембра) речевого сигнала на мел-шкале ($MFCC(c)$, где $c = 1, 2, \dots, C$ – номер МЧКК, C – количество коэффициентов).

Расширение информативного пространства статических кепстральных коэффициентов осуществляется за счет нормализации и вычисления первого и второго приращения значений МЧКК:

$$MFCC_{N(c)} = MFCC(c) \times \left(1 + \frac{L}{2} \sin\left(\frac{\pi c}{2}\right)\right),$$

где L – число, подбираемое эмпирически и равное 22.

$$MFCC_D(c) = \frac{\sum_{d=1}^D d(MFCC(c+d)) - MFCC(c-d)}{2 \sum_{d=1}^D d^2},$$

$$MFCC_DD(c) = \frac{\sum_{d=1}^D d(MFCC_D(c+d)) - MFCC_D(c-d)}{2 \sum_{d=1}^D d^2}$$

где $MFCC_D(c)$, $MFCC_DD(c)$ – первое и второе приращение МЧКК, $MFCC(c)$ – статические МЧКК, D – типовое значение приращения, равное 2.

Для оценки эффективности разработанного способа, использовался параметр – ошибки первого и второго рода. Исследование проводилось для трех видов речевых сигналов: состоящих только из вокализованных участков (сформированных с участием голосовых связок); состоящих из невокализованных участков (сформированных без участия голосовых связок); состоящих из вокализованных и невокализованных участков. При исследовании способа формирования информативных компонент осуществлялось посредством поочередного вычитания из речевых сигналов первых двух информативных шумовых и последних трех неинформативных ЭМ.

В таблице 1 приведены результаты исследований по обнаружению и оценке психоэмоциональных расстройств для трех видов анализируемых речевых сигналов. Данные в столбцах 2, 5 и 9 соответствуют речевым сигналам, состоящим из вокализованных участков. Столбцы 3, 6 и 10 для



речевых сигналов, состоящих из невокализованных участков. И столбцы 4, 7 и 11 для речевых сигналов, состоящих из вокализованных и невокализованных участков.

Таблица 1

Прогнозируемый результат	Достигнутый результат, чел.						Ошибки 1-ого и 2-ого родов, %			
	Патология			Норма						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Речевой сигнал										
Патология	78	19	83	22	81	17	α	22	81	17
Норма	16	51	15	84	49	85	β	16	51	15
Информативная компонента речевого сигнала № 1										
Патология	81	21	86	19	79	14	α	19	79	14
Норма	11	56	13	89	44	87	β	11	56	13
Информативная компонента речевого сигнала № 2										
Патология	86	16	89	14	84	11	α	14	84	11
Норма	10	71	12	90	29	88	β	10	71	12
Информативная компонента речевого сигнала № 3										
Патология	44	9	48	56	81	52	α	56	81	52
Норма	39	79	37	61	21	63	β	39	79	37

В сравнении между тремя видами сигналов наименьшее количество ошибок первого и второго родов ($\alpha=17\%$, $\beta=15\%$) достигается при анализе речи, состоящей из вокализованных и невокализованных участков. Если же анализировать сигналы по отдельности, то вокализованные отражают намного больше информации о нарушениях работы органов речевого аппарата и соответственно о психоэмоциональных расстройствах человека ($\alpha=22\%$, $\beta=16\%$), чем невокализованные речевые сигналы ($\alpha=81\%$, $\beta=51\%$). Результаты исследований показали, что при совместном анализе речи, состоящей из вокализованных и невокализованных участков, точность определения психоэмоциональных расстройств возросла на 5% (α) и 1% (β) соответственно, по сравнению с анализом только вокализованной речи.

При анализе информативных компонент, сформированных вычитанием последних трех неинформативных мод (ЭМ6 - ЭМ8), значения ошибок первого и второго родов уменьшилось для всех видов речи: $\alpha=19\%$, $\beta=11\%$; $\alpha=79\%$, $\beta=56\%$ и $\alpha=14\%$, $\beta=13\%$. При вычитании первой информативной шумовой моды (ЭМ1) точность определения также возросла, но только для вокализованной речи ($\alpha=14\%$, $\beta=10\%$) и речи, состоящей из вокализованных и невокализованных участков $\alpha=11\%$, $\beta=12\%$. Для невокализованной речи количество ошибок увеличилось: $\alpha=84\%$ и $\beta=71\%$. Объясняется это особенностью образования невокализованной речи, состоящей в основном из шумовых звуков. При вычитании второй информативной шумовой моды (ЭМ2) точность определения значительно ухудшилась для всех трех видов речевых сигналов: $\alpha=56\%$, $\beta=39\%$; $\alpha=91\%$, $\beta=89\%$ и $\alpha=52\%$, $\beta=37\%$. Объясняется это тем, что ЭМ2 помимо шума содержит и полезную информацию о сигнале,



вычитание которой приводит к ухудшению точности обнаружения и оценки психоэмоциональных расстройств.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что психоэмоциональные расстройства человека в большей степени влияют на вокализованные характеристики речевого тракта, чем на невокализованные. Результаты исследований также позволяют сделать вывод, что психоэмоциональные расстройства человека достаточно полно отображаются в кепстральных информативных параметрах речевых сигналов и разработанный способ на основе адаптивного декомпозиции и кепстрального анализа успешно может тестироваться в системах дистанционного мониторинга психоэмоциональных расстройств человека.

Литература

- 1 Schuller B.W. Computational Paralinguistics: Emotion, Affect and Personality in Speech and Language Processing / B.W. Schuller, A.M. Batliner // New York: Wiley. - 2013. - P. 344.
- 2 Huang N.E., Zheng Sh., Steven R.L. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. Proc. R. Soc. Lond. - 1998. A 454. - P. 903 - 995.
- 3 Алимуратов А.К. Способ определения формантной разборчивости речи для оценки психоэмоционального состояния операторов систем управления с высокой степенью ответственности / А.К. Алимуратов, А.Ю. Тычков, П.П. Чураков, Б.В. Султанов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. - 2019. - № 4 (30). - С. 58 - 69.
- 4 Colominasa, M. A. Improved complete ensemble EMD: a suitable tool for biomedical signal processing / M. A. Colominasa, G. Schlotthauera, M. E. Torres // Biomed. Signal Proces. - 2014. - Vol. 14. - P. 19 - 29.

Д.Г. Андронов, Л.С. Зеленко

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА ВРАЧА-ФЛЕБОЛОГА

(Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С.П. Королева)

Хронические заболевания вен (ХЗВ) широко распространены в мире, это показано в ряде эпидемиологических исследований, проведенных в разных регионах мира. В 2015 г. при обследовании жителей в сельском поселении в Центральном округе России симптомы ХЗВ были выявлены у 69,3% из 703 обследованных в возрасте старше 18 лет. Высокая распространенность ХЗВ в нашей стране подчеркивает важность точной и своевременной диагностики этой патологии, необходимость разработки технологий лечения, которые могут быть использованы максимально широко не только врачами сердечно-